

## パルス符号通信方式における波形伝送に関する研究

著者	千葉 信行
号	178
発行年	1968
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8914">http://hdl.handle.net/10097/8914</a>

氏 名 (本籍)	千 葉 信 行 (岩手県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 178 号
学位授与年月日	昭和44年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	パルス符号通信方式における波形伝送に 関する研究

(主査)

論 文 審 査 委 員	教授 斎藤 伸自	教授 高野 知彦
	教授 大泉 充郎	教授 佐藤利三郎

## 論 文 内 容 要 旨

### § 1 緒 論

パルス符号通信方式においては、伝送帯域の有効利用のため、高速高密度なパルス伝送を行なう。このため符号間干渉が大きな問題となる。

パルス波形の基本的性質として、従来不確定性原理を用いた研究が行なわれているが、符号間干渉は考慮されていない。このため、本論文では、完全タイミングの仮定の下で、符号間干渉の無い時間継続幅最小の帯域制限パルス波形を考察する。

パルス伝送速度が大となり、さらに多中継が行なわれるとタイミングジッタは避けられなくなつて来る。タイミングジッタを考慮した符号間干渉雑音最少の帯域制限パルス波形については、未だ十分な解析が行なわれていない。本論文で基本的性質について解析する。

## § 2 不確定性原理とパルス波形について

従来、ハイゼンベルグ型の不確定性原理を用いた帯域制限パルス波形について、種々の研究が行なわれて来ている。それらは総て、同じエネルギーのパルス波形で時間継続幅の最も狭いものを求めることを目的としている。しかし、実際のパルス通信においては、電圧による識別が行なわれていること、さらにトランジスタ等の性質より送出パルス波形の最大送出電力は平均電力ではなく、尖頭電力制限の場合もあることを考慮すれば、パルス波形の尖頭値一定の条件が、より実際に近い条件と考えられる。制限帯域がパルス伝送速度に比して十分広い場合には、符号間干渉も問題とならないが、実際のパルス伝送系ではナイキスト幅の高々2倍程度までであるから、符号間干渉のないことが必要な条件となってくる。すなわちパルス波形を  $h(t)$ 、符号間隔を  $T$  として、

$$\left. \begin{aligned} h(0) &\neq \alpha \quad (\alpha \text{ は } h(t) \text{ の最大値}) \\ h(iT) &= 0 \quad (i = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \infty) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

が成り立っている必要がある。

$h(t)$  のフーリエスペクトルを  $H(\omega)$  として、 $h(t)$  の時間継続幅  $D_t$  を

$$D_t^2 = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 h^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 d\omega \quad (2)$$

で定義する。ただし、 $H'(\omega) = \frac{dH(\omega)}{d\omega}$  である。

パルス波形が対称波形であることが、 $D_t^2$  を最小とする  $h(t)$  の必要十分条件である。

パルス波形の尖頭値一定と、符号間干渉の無いことを付帯条件として、時間継続幅  $D_t$  の最も小さい帯域制限パルス波形を求める問題は、変分法の等周問題となる。オイラーの微分方程式は

$$\frac{d^2 H(\omega)}{d\omega^2} + \lambda H(\omega) + \sum_{i=0}^{\infty} \mu_i \cos i\omega T = 0 \quad (3)$$

で、その解は

$$H(\omega) = a_0 + a_1 \omega + a_2 \omega^2 + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos i\omega T \quad (4)$$

を得る。この微分方程式の境界条件として

$$H(\omega) = 0, H(0) = \beta \quad (5)$$

を与える。ただし、制限帯域幅を  $W$  (rad/sec) とする。(4) の各係数  $a_0, a_1, a_2, b_i$  は、(1) (5) の条件より決定するが、 $W$  が特別の値の場合以外に直接算出するのは難かしい。符号間干渉の無いパルス波形は、周波数域で、折り返し和一定の条件を満たすことが知られている。この折り返し和一定の条件と、(4) の  $\sum_{i=1}^{\infty} b_i \cos i\omega T$  は周期  $\frac{2\pi}{T}$  を持つ偶関数となっていることを利用して、

幾何学的に係数  $a_0, a_1, a_2, b_i$  を求める。

パルス波形のスペクトル  $H(\omega)$  は簡単な折線で表わされる。制限帯域幅がナイキスト幅の2倍の場合は、三角スペクトルとなっている。図1にこのスペクトルの例を示す。時間広がり狭いとして知られる自乗余弦スペクトルパルスに比して、三角スペクトルパルスは、尖頭値対パルス波形のエネルギーも、尖頭値対時間継続幅も共に大きな値を持ち、パルス通信に適している。制限帯域を広げると、パルス波形の継続幅がせばまることが定性的に知られていたが、本論文で初めて定量的関係を算出して示した。(図2)

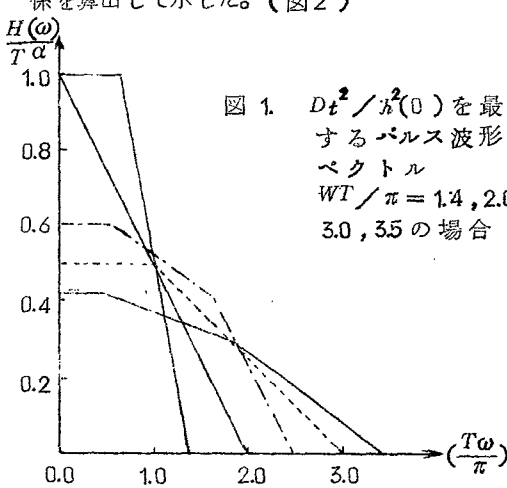


図1.  $Dt^2/h^2(0)$  を最少とするパルス波形のスペクトル  
 $WT/\pi = 1.4, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$  の場合

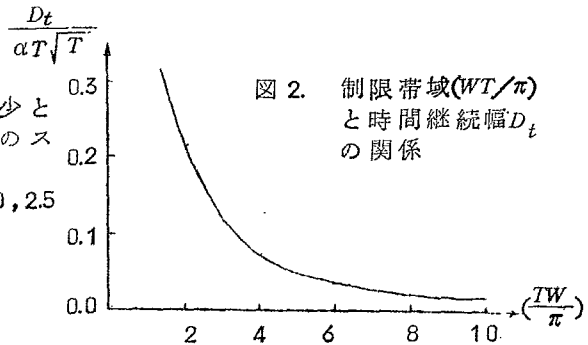


図2. 制限帯域  $(WT/\pi)$  と時間継続幅  $Dt$  の関係

### § 3 タイミングジッタがある場合の干渉雑音最少の帯域制限パルス波形

完全タイミングの仮定の下では、理想特性ともいえるべきパルス伝送最適構成法や、より実現性を考慮した最適パルス伝送の送信、受信波形がすでに得られている。しかし、パルス伝送速度が大になると共に、多中継を行なうと、タイミングジッタを避けることが困難となる。このため、タイミングジッタを考慮したパルス最適波形が問題となってくる。

パルス信号例  $y(t)$  を

$$y(t) = \sum_{M=-\infty}^{\infty} x_M h(MT + t + \Delta t_M)$$

で表わす。ここで  $h(t)$  は孤立パルス波形、 $x_M$  は符号、 $T$  は正規符号間隔、 $\Delta t_M$  は  $M$  番目のタイミングジッタを表わすものとする。干渉雑音  $N_f^2$  は、次式で定義する。

$$N_f^2 = \{x_0 h(0) - y(0)\}^2$$

$x_0 h(0)$  は  $t=0$  なる時点で符号間干渉やジッタが無ければ、本来検出される値である。この値からのずれの2乗平均を干渉雑音と定義する。線路雑音を考慮しないで符号間干渉雑音最少の帯域制

限パルス波形を求めよう。本章で論じる際の前提条件として、次の4つを与える。

- ㉑ パルス列のマーク・スペースの生起確率は等しく、各符号点毎に相互に独立である。
- ㉒ タイミングジッタの確率分布は、各符号点毎に独立で、同一の分布となる。その確率密度関数は偶である。
- ㉓ パルス波形は  $(W/2\pi)H_x$  で帯域制限を受ける。
- ㉔ 符号形式は、2進単流符号、2進複流符号、擬似3進複流符号とする。

これらの仮定は、従来の解析に用いられてきた仮定よりゆるやかな仮定であり、符号間干渉の解析に重大な支障をもたらすものは何もないと言えよう。これらの仮定の下では、最適パルス波形  $h(t)$  は対称波形である。 $W$  (rad/sec) を制限帯域として、 $h(t)$  のフーリエスペクトル  $H(\omega)$  をフーリエ級数表示すれば、

$$H(\omega) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m \cos \frac{m\pi\omega}{W}$$

である。フーリエ積分定理と数値解法により、 $a_m$  の近似解を求め得る。タイミングジッタの確率分布として、方形分布の場合の数値計算を行って、次のことを明らかにしている。

- ㉕ 帯域制限と符号間干渉雑音の定量的関係。(図3に1例を示す。)
- ㉖ 従来、最適構成法などで干渉雑音最小のパルスとして用いた仮定が妥当とは、一概にいえない。
- ㉗ 符号形式の種類によって干渉雑音最小のパルス波形は異なっている。
- ㉘ 擬似3進複流符号別での干渉雑音を直接求めて、低域遮断による波形歪と符号間干渉の関係。

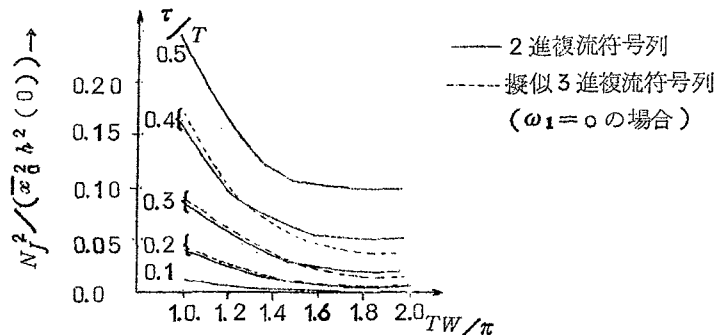


図3. 2進複流符号列と擬似3進複流符号列における干渉雑音

#### § 4 帯域通過伝送路でのパルス波形伝送

帯域通過型伝送路で、雑音に対して最も強いのは、位相変位方式である。本章では位相変位方式の諸特性の解析を行なっている。次に主な解析項目をあげる。

- ㉙ 電力スペクトルを求めて、所要帯域幅と振幅歪を調べている。

⑤ 伝送路の波形歪が、複調信号に与える影響を調べている。

⑥ 位相変位方式の改良点を考察している。

## § 結 言

不確定性原理を用いて、完全タイミング系で符号間干渉の無い、時間継続幅最小の帯域制限パルス波形を求めた。パルス波形のスペクトルは簡単な折線で表わされる。制限帯域幅がナイキスト幅の2倍の場合は、三角スペクトルとなっている。

タイミングジッタがある場合に、符号形式が2進単流符号、2進複流符号、擬似3進複流符号について、符号間干渉雑音量と制限帯域幅の定量的関係を明らかにしている。また、干渉雑音最少のパルス波形を求めると、2進単流符号列と2進複流符号列とはほぼ一致しており、擬似3進複流符号列の場合のみ異っている。2進複流符号列（または2進単流符号列）において、制限帯域がナイキスト幅の2倍でタイミングジッタの変位が小さい場合は、パルススペクトルはまた時間継続幅最小の場合と同様に三角形となっていることが明らかとなった。

これらの結果は、パルス符号通信方式における伝送方式設計の基礎的資料として役立つものと思われる。

## 謝

## 辞

本研究を進めるにあたり、常に御指導いただいた齋藤伸自教授、ならびに前東北大学教授喜安善市先生に衷心より感謝致します。また有益な御助言をいただいた佐藤利三郎教授、高野知彦教授、大泉充郎教授に心からお礼申し上げます。

## 文

## 献

山田；帯域内特性のフーリエ近似における一方法；信学誌，42，7，pp693-701（昭34-07）  
細野，大和久；波形解析における不確定性原理の拡張；信学誌，48，8，p1374（昭40-08）  
金谷，大友；帯域制限における符号伝送最適構成；信学会通信方式研資（昭42-02）  
辻井；同軸PCM方式の最適波形に関する考察，信学誌，49，11，p2147（1966）

## 審 査 結 果 の 要 旨

半導体素子の出現と、パルス技術の進歩によって、パルス符号通信方式が実用化されて以来、まだ10年とは経っていないが、同方式に関する理論的、実験的検討は盛んに行なわれ、現在では、主として高速パルス伝送と、高速高精度符号化の問題に研究がしぼられてきた。本論文はパルス伝送に関する二、三の問題を、より基本的な観点より考察し、高速パルス伝送方式設計の基礎的資料を提供するのを意図したもので、5章より成る。

第1章では、パルス符号通信方式の研究の概観を述べている。

第2章では、時間域での波形の広がり最少になるパルス波形を求めている。パルス符号相互間の干渉が無く、符号識別時点の間隔が一定で、かつ伝送路特性が低域通過形の場合について、振巾スペクトルを計算したものである。とくに、電圧識別を目的として検討した結果が、エネルギーを一定として求めたパルス波形と異ったものである点を指摘しているのは注目される。

第3章は本論文の主要部をなすもので、第2章で用いた完全タイミングの条件をはずして、確率分布が方形分布であるタイミングジッタの存在するときに、符号間干渉が最少であるパルス波形を求めている。最も実用的な二進単流および複流符号列と擬似三進複流符号列について、最適波形を具体的に示したのは本論文が初めてである。

第4章では、伝送路特性が帯域通過形の場合には、位相変位方式が最も雑音妨害を受けにくいことから、同方式における信号電力スペクトル、帯域制限による振巾歪、伝送路の位相歪による復調出力劣化などを解析し、復調方式の改良を提案している。

第5章はまとめである。

以上のように、本論文はパルス符号通信方式におけるパルス伝送に関して、低域通過形の伝送路については、符号間干渉が最少であるようなパルス波形を求め、帯域通過形伝送路については位相変位方式の問題点を解明して、パルス符号通信方式における受信等化および復調方式に関する基本的かつ有用な資料および示唆を与えるもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。